



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 198 39 308 A 1**

⑳ Aktenzeichen: 198 39 308.3  
㉒ Anmeldetag: 28. 8. 1998  
㉔ Offenlegungstag: 9. 3. 2000

㉕ Int.Cl.7:  
**G 02 F 1/01**  
G 02 F 1/13  
G 02 B 6/00  
G 02 B 27/28  
H 04 B 10/16  
H 04 B 10/02

DE 198 39 308 A 1

㉗ Anmelder:  
Siemens AG, 80333 München, DE

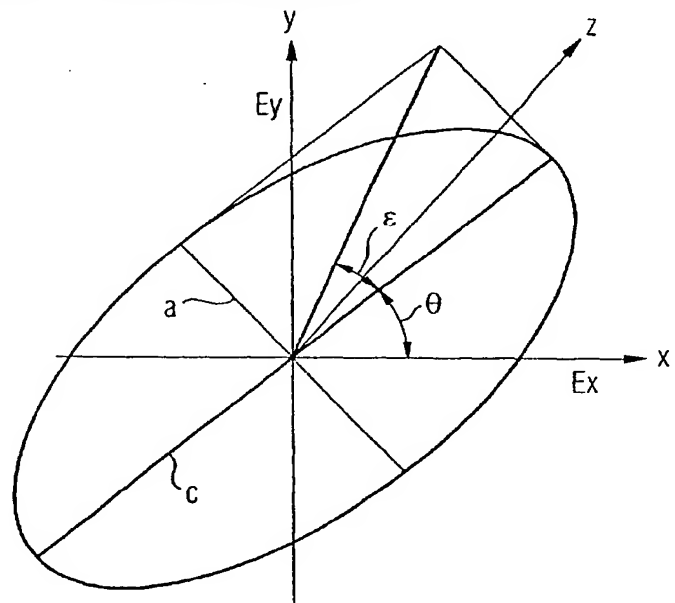
㉘ Erfinder:  
Noe, Reinhold, Prof. Dr.-Ing., 33100 Paderborn, DE

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

㉙ Polarisationstransformator mit einstellbaren Eigenmoden der Polarisationsselemente

㉚ Der Polarisationstransformator (PT) enthält 3 bis 8 Polarisationsselemente (W1, W2...), von denen mindestens 3 individuell angesteuert werden und bei dem die Eigenmoden so eingestellt werden können, daß sich zumindest insgesamt näherungsweise eine Laufzeitdifferenz zwischen den Eigenmoden von  $\pi$  rad ergibt. Durch lineare Änderung der Einstellwerte kann jeder Polarisationszustand erreicht werden.



DE 198 39 308 A 1

Die Erfindung betrifft einen Polarisationstransformator nach dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1.

Ein Polarisationstransformator dient zur Veränderung des Polarisationszustandes einer elektromagnetischen, vorzugsweise optischen Welle.

In der optischen Übertragungstechnik werden lange Lichtwellenleiter-Übertragungstechniken eingesetzt. Die Lichtwellenleiter sind herstellungsbedingt nicht vollständig isotrop, sondern schwach doppelbrechend. Wegen der großen Übertragungslänge ergibt sich hierdurch eine frequenzabhängige Polarisationsumwandlung, Polarisationsmodendispersion (PMD) oder kürzer Polarisationsdispersion genannt. Diese führt insbesondere zur Verbreiterung gesendeter Impulse, wodurch die Übertragungsdatenrate limitiert wird. Eine Kompensation wird dadurch erschwert, daß sich die Polarisationsmodendispersion durch unterschiedliche Temperaturen oder mechanische Beanspruchung verändert. Deshalb werden adaptive PMD-Kompensatoren benötigt, die, in den Übertragungspfad eingefügt, die schädlichen Auswirkungen kompensieren sollen.

Polarisationstransformatoren, welche sowohl in PMD-Kompensatoren als auch zu anderen Zwecken, beispielsweise der Einstellung eines gewünschten Eingangspolarisationszustandes am Eingang eines polarisationsabhängigen optischen Verstärkers, eingesetzt werden können, sind prinzipiell bekannt und beispielsweise in IEEE Journal of Light Wave Technology, Vol. 8, Nr. 3, March 1990, Page 459-465 oder beschrieben. Zur Steuerung der Polarisation werden Flüssigkristall-Retarder verwendet. Ein Polarisationstransformator besteht hier aus drei von einer Lichtwelle durchlaufenen Retardern.

Zwei Retarder arbeiten als Einheit unabhängig vom dritten und werden von zwei unabhängigen Regelkreisen angesteuert. Der Nachteil des Retarders besteht darin, daß nematische Flüssigkristalle verwendet werden. Diese haben eine niedrige, für kommerziellen Einsatz nicht ausreichende Ansprechgeschwindigkeit. Außerdem ist die Verzögerung variabel, während die Eigenmoden fest sind. Dies bedeutet, daß, wenn die Verzögerungsgrenzen erreicht sind, im Betrieb Rücksetzvorgänge erforderlich sind, welche schwierig zu implimentieren sind und Übertragungsfehler bewirken können.

Aufgabe der Erfindung ist es daher, einen mit wenigen Retardern realisierbaren Polarisationstransformator anzugeben, der keine Rücksetzvorgänge erfordert. Ersoll auch ohne mechanisch bewegliche Retarder realisierbar sein.

Diese Aufgabe wird durch einen Polarisationstransformator nach Anspruch 1 gelöst.

Wesentlich bei diesem Polarisationstransformator ist, daß zumindest drei Polarisationselemente unabhängig voneinander ansteuerbar sind. Der beschriebene Polarisationstransformator läßt sich mit geringem Aufwand und niedriger Eigendämpfung realisieren. Durch die Verwendung einer minimalen Anzahl von Retardern wird auch das Bauvolumen verringert. Der Polarisationstransformator ermöglicht die sog. "endlose" Polarisationsregelung. Dies bedeutet, daß ein bestimmter Eingangspolarisationszustand in jeden beliebigen Ausgangspolarisationszustand transformiert werden kann, und daß beliebige vorgegebene Änderungen dieses Ausgangspolarisationszustandes auf direktem Wege erreicht werden können, also ohne Umwege über weitere Polarisationszustände. Entsprechendes gilt für die Transformation eines beliebigen variablen Transformationszustandes in einem bestimmten festen Polarisationszustand. Diese Eigenschaft ist von besonderer Bedeutung, da die Bitfehlerrate eines optischen Datenübertragungssystems vom Polarisationszu-

stand abhängt und dieser seinerseits von Schwankungen des Polarisationsübertragungsverhaltens einer langen Lichtwellenleiterstrecke beeinflusst wird, eine nicht endliche Polarisationsregelung kurze Perioden mit sehr hohen Bit-Fehlerraten bewirken würde, während eine endlose Polarisationsregelung dies vermeiden kann.

Der erfindungsgemäße Polarisationstransformator kommt theoretisch mit drei verschiedenen Polarisationsselementen aus, die jedoch in großen Bereichen verstellbar sein müssen. Die Verwendung von mehreren Polarisationsselementen läßt größere Toleranzen zu und kommt mit geringen Einstellbereichen aus. Auch ist die Verwendung von ferroelektrischen Flüssigkristallzellen möglich, so daß bewegliche Elemente entfallen.

Ausführungsbeispiele der Erfindung werden anhand von Figuren näher beschrieben.

Es zeigen:

Fig. 1 eine Polarisationsellipse,

Fig. 2 eine Poincaré-Kugel,

Fig. 3 einen erfindungsgemäßen Polarisationstransformator,

Fig. 4 bis 8 verschiedene Ansteuerdiagramme,

Fig. 9 eine Sendeeinrichtung und

Fig. 10 einen Kompensator zur Polarisationsmodendispersion.

Zur Darstellung von Polarisationszuständen hat sich die sog. Poincaré-Kugel bewährt. Ein Polarisationszustand wird durch einen normierten Stokes-Vektor dargestellt. Da die Länge des Vektors für vollständig polarisiertes Licht gleich 1 ist, liegen seine Endpunkte auf der Kugeloberfläche. Zum besseren Verständnis ist in Fig. 1 zunächst die sog. Polarisationsellipse dargestellt. Die Achsen x und y liegen in einer Ebene senkrecht zur Ausbreitungsrichtung der Achse z. Die elektrischen Feldstärkekomponenten sind mit  $E_x$  und  $E_y$  bezeichnet.  $\theta$  bezeichnet den Erhebungswinkel der großen Hauptachse c (Haupttrichtung der Polarisation) gegenüber der x-Achse und  $\epsilon$  den Elliptizitätswinkel. In der dreidimensionalen Datenstellung der Poincaré-Kugel bezeichnet die S1-Achse den Grad der horizontalen bzw. vertikalen Polarisation. Da in der Poincaré-Kugel die doppelten Winkel aufgetragen sind, bedeuten negative Werte auf der S1-Achse eine vertikale Polarisation. P1 entspricht einem horizontalen Polarisationszustand und P2 einem vertikalen Polarisationszustand. Die S2-Achse steht entsprechen für  $+45^\circ/-45^\circ$  lineare Polarisation und die S3-Achse für rechts-/linkszirkuläre Polarisation.

In die Poincaré-Kugel sind außerdem der Äquator und die von den Achsen S2 und S3 aufgespannte Ebene eingezeichnet; die von den Achsen S1 und S3 aufgespannte Ebene wurde dagegen nur angedeutet.

Mittels einer "endlosen" Polarisationsregelung soll ein bestimmter Eingangspolarisationszustand, beispielsweise P1 ( $S1 = 1$ ) in jeden beliebigen Ausgangszustand transformiert und auch eine beliebige vorgegebene Änderung dieses Ausgangspolarisationszustandes auf direktem Wege erreicht werden können. Bevor hierauf weiter eingegangen wird, soll die Arbeitsweise des Polarisationstransformators näher erläutert werden.

In Fig. 3 ist ein Ausführungsbeispiel des Polarisationstransformators PT dargestellt. Die über einen Lichtwellenleiter LWL ankommende Lichtwelle LW wird in einer Gradientenlinse L1 aufgefächert und durchläuft verschiedene Polarisationsselemente oder Retarder W1 bis W6, um in einer zweiten Linse L2 zusammengefaßt zu werden und über einen polarisationserhaltenden Lichtwellenleiter PMF (mit einer Länge, die einer Gruppenlaufzeitdifferenz zwischen den beiden erhaltenden Polarisationen liegt) ausgekoppelt zu werden. Als Retarder W1 bis W6 eignen sich Wellenplat-

ten und besonders ferroelektrische Flüssigkristallzellen, die mit Elektroden versehen sind und durch das Anlegen von Steuerspannungen  $U_1$  bis  $U_6$  als Polarisations-elemente wirken. Jeder Retarder weist zwei zueinander orthogonale Eigenmoden und eine annähernd konstante Laufzeitdifferenz, kurz Verzögerung genannt, zwischen "schnellen" und "langsamen" Eigenmoden auf. Durch individuelle Steuerung der Retarder mit unterschiedlichen Spannungen können von einem bestimmten Polarisationszustand, beispielsweise  $P_1$  ( $S_1 = 1$ ) ausgehend sämtliche Punkte auf der Oberfläche der Poincaré-Kugel, d. h. sämtliche Polarisationszustände erreicht werden.

Zur Erleichterung des Verständnisses ist ein gedanklicher Zwischenschritt zweckmäßig. Eine Voraussetzung zur gewünschten Funktionsweise ist, daß der Polarisations-transformator zumindest näherungsweise eine gesamte Verzögerung zwischen seinen orthogonalen Eigenmoden entsprechend  $\pi$  rad besitzt, also im Fall horizontaler oder vertikaler Eingangspolarisation eine Polarisationsänderung um  $90^\circ$  bewirken kann. In der Darstellung auf der Poincaré-Kugel bedeutet dies, daß der Polarisationszustand  $P_1$  auf der Achse  $S_1$  in den Polarisationszustand  $P_2$  ( $S_1 = -1$ ) übergeführt werden kann, der dem Punkt  $P_1$  gegenüberliegend dargestellt ist. Der Polarisationstransformator, als homogenes Element betrachtet, besitzt neben der genannten Verzögerung natürlich auch orthogonale Eigenmoden. Die von ihm bewirkte Polarisations-Transformation läßt sich deshalb in Form einer einzigen Drehung angeben. Die Drehachse verläuft durch die beiden Eigenmoden. Im angegebenen Beispiel liegt sie in der von den Achsen  $S_2$  und  $S_3$  gebildeten Ebene und der Winkel  $2\gamma$  wird zwischen der positiven  $S_2$ -Achse und der Achse des Großkreises angegeben. Die Überführung des einen Polarisationszustandes in den anderen Polarisationszustand erfolgt jeweils über einen Großkreis GK (von beliebig vielen Großkreisen).

In Fig. 4 sind für einen Polarisators mit 3 Retardern  $W_1$ ,  $W_2$ , und  $W_3$  die Funktionen der Einstellwerte, hier die jeweiligen doppelten Erhebungswinkel  $2\alpha_1$ ,  $2\alpha_2$  und  $2\alpha_3$  der einzelnen Retarder, dargestellt, bei denen für die unterschiedlichsten Werte von  $2\gamma$  ( $2\gamma$  entspricht der Schwenkung der Eigenmoden bzw. der Achse eines Großkreises um die  $S_1$ -Achse und gibt damit beliebige durch  $S = 1$  und  $S = -1$  gehende Großkreise an) ein linearer Eingangs-Polarisationszustand  $P_1$  ( $S_1 = 1$ ) mit einem Erhebungswinkel von  $0^\circ$  auf der Ausgangsseite zu einem Polarisationszustand mit einem Erhebungswinkel von  $\pi/2$  ( $S_1 = -1$ ) wird, d. h. zu einem senkrechten Polarisationszustand wird.

Will man jedoch nicht diese maximale Änderung des Polarisationszustandes erreichen, sondern einen zur Kompensation erforderlich "Betriebs-Polarisationszustand"  $P_B$ , so sind die in Fig. 4 angegebenen Erhebungswinkel gleichmäßig linear zu reduzieren, um auf einem bestimmten durch  $2\gamma$  festgelegten Großkreis zum gewünschten Polarisationszustand zu gelangen. Da sich mit der Erhebungswinkel im allgemeinen auch gleichzeitig die Eigenmoden des gesamten Polarisationstransformators ein wenig verändern, beispielsweise aus der durch die Achsen  $S_2$  und  $S_3$  gebildeten Ebene heraustreten, ist nicht genau die Gruppe von Erhebungswinkeln maßgebend, die bei dem zugehörigen Wert  $2\gamma$  abgelesen wird, sondern eine in deren Nachbarschaft ablesbare Wertegruppe von Erhebungswinkeln, die gleichmäßig linear zu reduzieren ist. In diesem Fall gelangt man trotzdem zum gewünschten Polarisationszustand  $P_B$ .

Zusätzliche Funktionalität, welche im Betrieb Robustheit gegenüber auftretenden Schwankungen aller Arten, beispielsweise Temperaturschwankungen verschafft, erhält man, wenn im Fall einer eingestellten Verzögerung von wenigstens näherungsweise  $\pi$  die Eigenmoden des Polarisati-

onstransformators nicht nur auf einem Großkreis der Poincaré-Kugel endlos eingestellt werden können, sondern auch in der Nachbarschaft dieses Großkreises. Ein entsprechendes Toleranzband  $TB$ , innerhalb dessen sich die Eigenmoden des Polarisationstransformators bei eingestellter Verzögerung von  $\pi$  bewegen können, ist schematisch in Fig. 2 dargestellt. Diese zusätzliche Funktionalität ergibt sich automatisch, insbesondere in solchen Fällen, in denen der Polarisationstransformator aus vier oder mehr Einzelretardern zusammengesetzt ist, durch die individuellen Ansteuermöglichkeiten dieser Retarder.

Man sieht, daß die Funktionsverläufe der Erhebungswinkel als Funktion von  $2\gamma$  stetig und periodisch (gleiche Anfangs- und Endwerte) sind. Um beispielsweise endlos variable Ausgangspolarisationen zu erzeugen, welche die Zustände (a) zirkular ( $S_3 = 1$ ), (b) linear mit Erhebungswinkel  $-\pi/4$  ( $S_2 = -1$ ), (c) entgegengesetzt zirkular ( $S_3 = -1$ ), (d) linear mit Erhebungswinkel  $\pi/4$  ( $S_2 = 1$ ) und wiederum (e) linear mit Erhebungswinkel  $\pi/4$  ( $S_2 = 1$ ) nacheinander und unter stetiger Änderung annimmt, sind fortlaufende Wertegruppen, welche bei fortlaufenden Werten der waagerechten Achse abzulesen sind, unter linearer Reduzierung anzuwenden.

Die Wertegruppen für die einzelnen Polarisationszustände sind dem in Fig. 4 dargestellten Diagramm – außer für die Punkte  $P_1$  und  $P_2$  – demnach nicht direkt zu entnehmen, sondern für die in der Ebene  $S_2$ ,  $S_3$  liegenden Punkte etwa zu halbieren.

Die dargestellten Funktionen für die einzustellenden Erhebungswinkel schwanken um Mittelwerte, bei denen die Eingangspolarisation den Polarisationstransformator unverändert passiert. Auf diese Weise wird sichergestellt, daß auch alle zwischen den genannten möglichen Ausgangspolarisationen liegenden möglichen Polarisationszustände durch eine entsprechende Wertegruppe mit geringen Amplituden erreicht werden können.

Die in Fig. 4 dargestellten Erhebungswinkel müssen unter Berücksichtigung von Nichtlinearitäten und nicht konstanten Verzögerungen zwischen den Eigenmoden der Retarder in Steuerspannungen umgesetzt werden und sind von den Laufzeitdifferenzen der Eigenmoden abhängig. In dem angegebenen Beispiel besitzen die Retarder  $W_1$  und  $W_3$  einen Winkel von  $\phi_1 = \phi_3 = 1,8947375$  rad (Radiant) entsprechende Laufzeitdifferenz (Verzögerung) zwischen den Eigenmoden, der Retarder  $W_2$  eine Laufzeitdifferenz von  $1,9427$  rad.

Vorteilhaft an diesem Ausführungsbeispiel ist die sehr geringe Anzahl von erforderlichen Wellenplatten; nachteilig ist der relativ große maximal erforderliche Einstellwinkel der Eigenmoden. Ferroelektrische Flüssigkristallzellen, die zur Realisierung besonders geeignet sind, besitzen zur Zeit nur Einstellbereiche von  $\pm 45^\circ$  oder weniger.

Die großen Erhebungswinkel bzw. Einstellbereiche können wesentlich verkleinert werden, indem mehr als 3 Retarder vorgesehen sind. Fig. 5 zeigt dies bei Verwendung von vier Retardern, deren Laufzeitdifferenzen für die Eigenmoden  $\phi_1 = \phi_2 = -\phi_3 = -\phi_4 = 2,123$  rad beträgt. Dieser Polarisationstransformator hat den Vorteil, daß nur ein Typ von Wellenplatten oder Flüssigkristallelemente erforderlich ist, von denen die beiden letzten um  $90^\circ$  verdreht werden. Durch die Drehung um  $90^\circ$  werden die langsamen und schnellen Eigenmoden vertauscht, so daß sich, bezogen auf die ursprünglichen Eigenmoden, das Vorzeichen der Verzögerung ändert. Wie anhand von Fig. 5 ersichtlich ist, liegen die maximal erforderlichen Einstellbereiche der doppelten Erhebungswinkel bei etwa  $\pm 1,1$  rad. Dies läßt sich mit ferroelektrischen Flüssigkristallzellen (FLC) bereits erreichen. Anstelle der genannten Verzögerung können auch etwas an-

dere Werte  $(0,96 \dots 1,1) \times 2.123$  rad verwendet werden.

In Fig. 6 ist das entsprechende Wertediagramm für 5 Retarder dargestellt. Die Verzögerungen betragen für  $\varphi_1 = \varphi_5 = 1,2860$  rad,  $\varphi_2 = \varphi_4 = 2.1823$  rad,  $\varphi_3 = 1.4939$  rad. In Fig. 7 ist das Wertediagramm eines anders ausgeführten Polarisationskompensators dargestellt, dessen Verzögerungen  $\varphi_1 = \varphi_2 = \varphi_3 = \varphi_4 = \varphi_5 = 1,27$  rad betragen. Wegen der vorhandenen Freiheitsgrade können bei mehr als drei Polarisations-elementen stets mehrere Sätze von stetigen Funktionsverläufe angegeben werden.

Fig. 8 zeigt die Werte für 6 Retarder. Die Verzögerungen betragen für  $\varphi_1 = \varphi_3 = -\varphi_4 = -\varphi_6 = 1,8652$  rad und für  $\varphi_2 = -\varphi_5 = 2,631$  rad. Die hinteren drei Wellenplatten sind gegenüber den drei vorderen wiederum um  $90^\circ$  gedreht, um negative Verzögerungswerte mit den gleichen Bauelementen realisieren zu können. Es sind nur drei Funktionsverläufe angegeben, die jeweils für einen Erhebungswinkel einer Wellenplatte und dessen negative Funktion für eine weitere Wellenplatte gelten.

Für Ausführungsformen mit ungerader Elementanzahl ist es günstig die Verzögerungswerte bezüglich des mittleren Elements symmetrisch zu gestalten, da sich auf diese Weise möglichst kleine maximal erforderliche Einstellbereiche der doppelten Erhebungswinkel  $2x\theta_1, 2x\theta_2, \dots$  ergeben.

Während Wellenplatten lineare Eigenmoden besitzen, gilt dies für ferroelektrische Flüssigkristallzellen nicht uneingeschränkt, da diese chirale Moleküle und eine helikale Molekül-Superstruktur besitzen. Dennoch kann die Erfindung auch uneingeschränkt in diesen Fällen verwendet werden, sofern die Eigenmoden sich bei Anlegen einer Zellenspannung auf einem Großkreis der Poincaré-Kugel bewegen. In der Praxis wird dies nicht immer zu erfüllen sein. Dennoch läßt ein Polarisationstransformator gemäß der Erfindung auch für solche Fälle, beispielsweise mit ferroelektrischen Flüssigkristallzellen problemlos realisieren, wenn vier oder mehr Flüssigkristallzellen vorgesehen sind. Selbst der Fall, daß die Verzögerungen bei einer Veränderung der Eigenmoden nicht konstant bleiben, wird durch die zusätzlichen Freiheitsgrade beherrschbar. Bezogen auf die Fig. 2 kann es insbesondere in solchen Fällen notwendig werden, daß die Punkte P1 und P2 auf der Poincaré-Kugel nicht oder nicht genau gegenüber liegen. Wie aus den Darstellungen der Wertegruppen hervorgeht, gehen die wählbaren Funktionsverläufe der verstellbaren Eigenmoden mit zunehmender Anzahl von Retardern immer mehr in Sinusverläufe über. Exakte Sinusverläufe an allen Wellenplatten sind jedoch erst bei unendlich vielen Wellenplatten erreichbar.

Ein erfindungsgemäßer Polarisationstransformator kann die bisherigen Polarisationstransformatoren, wie sie beispielsweise in der Patentanmeldung DE 36 31 798.5 beschrieben sind, ersetzen. Alternativ zu dieser Verwendung in einem Kompensator ist die Verwendung der Erfindung bei der sendeseitigen Kompensation oder, genauer gesagt, der Vermeidung von Polarisationsdispersion erster Ordnung dadurch möglich, daß die Sendepolarisation einer der Polarisationsmodendispersion erster Ordnung nicht unterworfenen Polarisierung der Übertragungsstrecke, eines sog. "principal state of polarisation" entspricht. Zu diesem Zwecke können beispielsweise ferroelektrische Flüssigkeitszellen gleich in das Sendelasermodul mit eingebaut werden. Dies ist Fig. 9 prinzipiell dargestellt, bei der ein Laser LA und ein Polarisationstransformator PT zusammengefaßt sind.

Die Erfindung kann auch als in einem Kompensator zur Polarisationsmodendispersion eingesetzt werden. Dazu werden abwechselnd ein Polarisationstransformator PT1, PT2, PT3, ... und ein Verzögerungselement, welches eine näherungsweise frequenzabhängige große Verzögerungszeit zwischen seinen principal states of polarisation besitzt, bei-

spielsweise ein Stück polarisationserhaltende Faser PMF1, PMF2, PMF3, ... von einer Lichtwelle LW durchlaufen. Ein solcher Kompensator wird bevorzugt empfängerseitig am Ende der Übertragungsstrecke eingesetzt. In den Fällen, wo beliebige und im allgemeinen mehrere Polarisierungen gleichzeitig am Eingang eines Polarisationstransformators anliegen, ist die Eingangspolarisation nicht mehr gleich dem Punkt P1 (Fig. 1). Die Anforderungen an die Polarisations-transformatoren sind aber trotzdem mit den vorstehend beschriebenen identisch.

#### Patentansprüche

1. Polarisationstransformator (PT) mit mehreren von einer Lichtwelle durchlaufenden einstellbaren Retardern (W1-W6), die zwei zueinander orthogonale Eigenmoden und zumindest eine annähernd konstante Laufzeitdifferenz zwischen diesen Eigenmoden aufweisen, **dadurch gekennzeichnet**, daß zumindest drei der Retarder (W1, W2, W3) individuell angesteuert werden, daß wenigstens ein Retarder durch elektrostatische Felder innerhalb von Grenzen, also nicht endlos einstellbare Eigenmoden aufweisen kann, daß die Eigenmoden der Retarder (W1, W2, W3) so eingestellt werden können, daß sich zumindest näherungsweise eine Laufzeitdifferenz zwischen den Eigenmoden entsprechend einer Phasendifferenz von  $\pi$  rad ergibt, daß die Überführung des ersten Polarisationszustandes (P1) in den zweiten Polarisationszustandes (P2) zumindest annähernd über beliebige Großkreise (GK) einer Poincaré-Kugel erfolgt, wobei diesen unterschiedliche Gruppen von Einstellwerten ( $2x\theta_1, 2x\theta_2, 2x\theta_3, \dots$ ) der einzelnen Retarder (W1, W2, W3, ...) zugeordnet sind, und daß zwischen dem ersten Polarisationszustand (P1) und dem zweiten Polarisationszustand (P2) zumindest annähernd entlang allen Großkreisen Änderungen des Polarisationszustandes durch zumindest annähernd lineare Änderungen der Einstellwerte ( $2x\theta_1, 2x\theta_2, 2x\theta_3, \dots$ ) durchgeführt werden können.
2. Polarisationstransformator nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Überführung des ersten Polarisationszustandes (P1) in den zweiten Polarisationszustandes (P2) über beliebige Großkreise (GK) einer Poincaré-Kugel erfolgt.
3. Polarisationstransformator nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß bei Einstellung einer Verzögerung von  $\pi$  Eigenmoden eingestellt werden können, die sich auf einem einen Großkreis einschließendem Toleranzband (TB) der Poincaré-Kugel endlos variieren lassen.
4. Polarisationstransformator nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß wenigstens eine die Einstellwerte ( $2x\theta_1, 2x\theta_2, 2x\theta_3, \dots$ ) der Retarder (W1, W2, W3, ...) angebenen Funktionen nicht sinusförmig verläuft.
5. Polarisationstransformator nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Einstellwerte ( $2x\theta_1, 2x\theta_2, 2x\theta_3, \dots$ ) um Mittelwerte, bei denen die Eingangspolarisation erhalten bleibt, variiert werden.
6. Polarisationstransformator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß 3 bis 8 Retarder (W1, W2, W3, ...) vorgesehen sind.
7. Polarisationstransformator nach Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, daß Retarder (W1 bis W6)

mit zumindest annähernd gleichen Einstellmöglichkeiten ihrer Eigenmoden vorgesehen sind.

8. Polarisationstransformator nach Anspruch 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, daß als Retarder (W1 bis W8) Wellenplatten vorgesehen sind.

9. Polarisationstransformator nach Anspruch 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, daß als Retarder (W1 bis W8) ferroelektrische Flüssigkristallelemente vorgesehen sind.

10. Polarisationstransformator nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß vier bis acht Flüssigkristallelemente vorgesehen sind.

11. Polarisationstransformator nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß 3 Retarder (W1, W2, W3) vorgesehen sind, die Laufzeitdifferenzen zwischen den Eigenmoden von zumindest annähernd  $\varphi_1 = \varphi_3 = 1,89947375$  rad und  $\varphi_2 = 1,9427$  rad aufweisen.

12. Polarisationstransformator nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß vier Retarder (W1, W2, W3, W4) vorgesehen sind, die Laufzeitdifferenzen zwischen den Eigenmoden von zumindest annähernd  $\varphi_1 = \varphi_2 = \varphi_3 = -\varphi_4 = 2,123$  rad aufweisen.

13. Polarisationstransformator nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß fünf Retarder (W1, W2, W3, W4, W5) vorgesehen sind, die Laufzeitdifferenzen zwischen den Eigenmoden von zumindest annähernd  $\varphi_1 = \varphi_5 = 1,2860$  rad,  $\varphi_2 = \varphi_4 = 2,1823$  rad und  $\varphi_3 = 1,4939$  rad aufweisen.

14. Polarisationstransformator nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß 6 Polarisationsselemente (W1, W2, W3, W4, W5, W6) vorgesehen sind, die Laufzeitdifferenzen zwischen den Eigenmoden von zumindest annähernd  $\varphi_1 = \varphi_3 = -\varphi_4 = -\varphi_5 = 1,8652$  rad und,  $\varphi_2 = \varphi_6 = 2,6310$  rad aufweisen.

15. Polarisationstransformator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß er bei einer optischen Übertragungsstrecke zur Regelung der Sendepolarisation vorgesehen ist.

16. Polarisationstransformator (PT1, PT2, ...) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß er in Reihe mit einem differentiellen Laufzeitglied (PMF1, PMF2, PMF3, ...) in Empfängergeräten zur Regelung von Polarisationsmodendispersion vorgesehen ist.

Hierzu 8 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

**FIG 1**

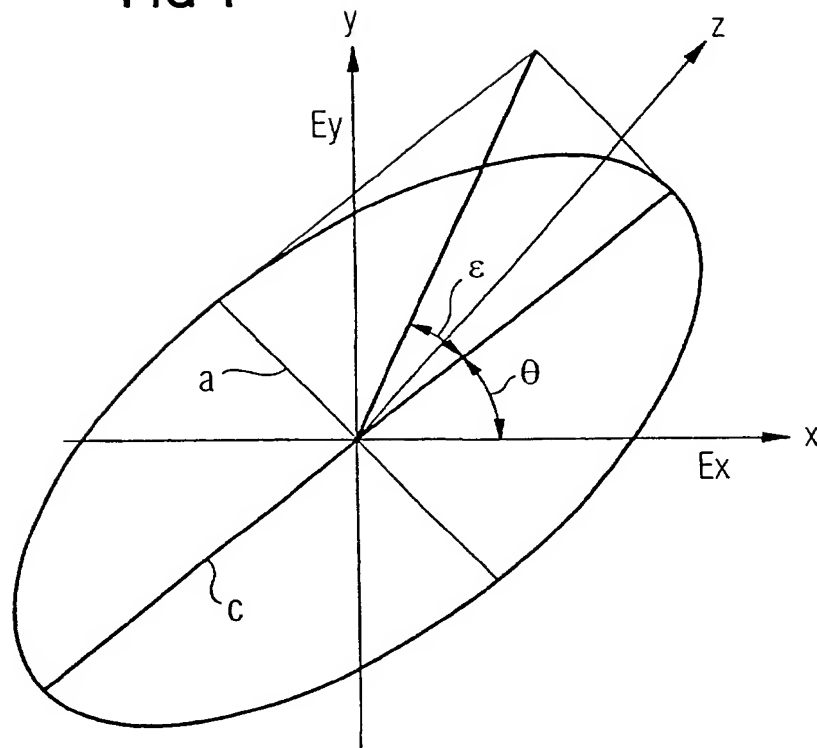


FIG 2

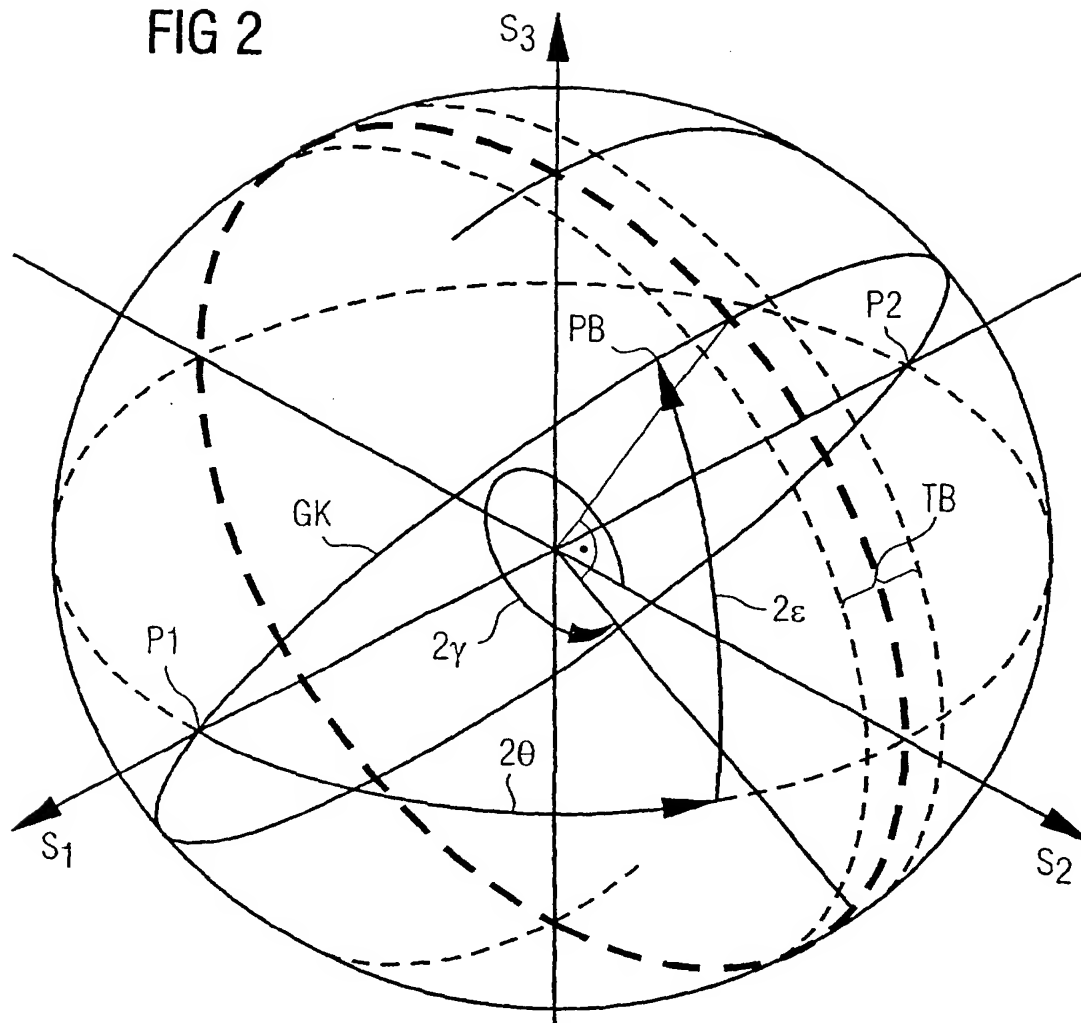


FIG 3

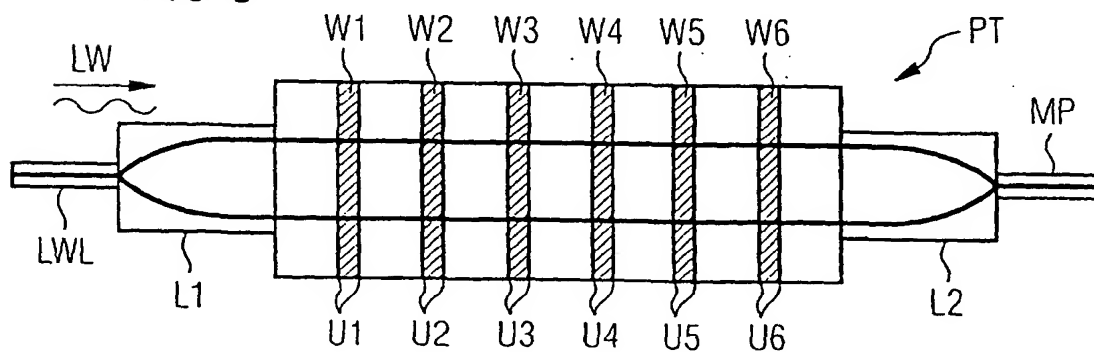




FIG 4

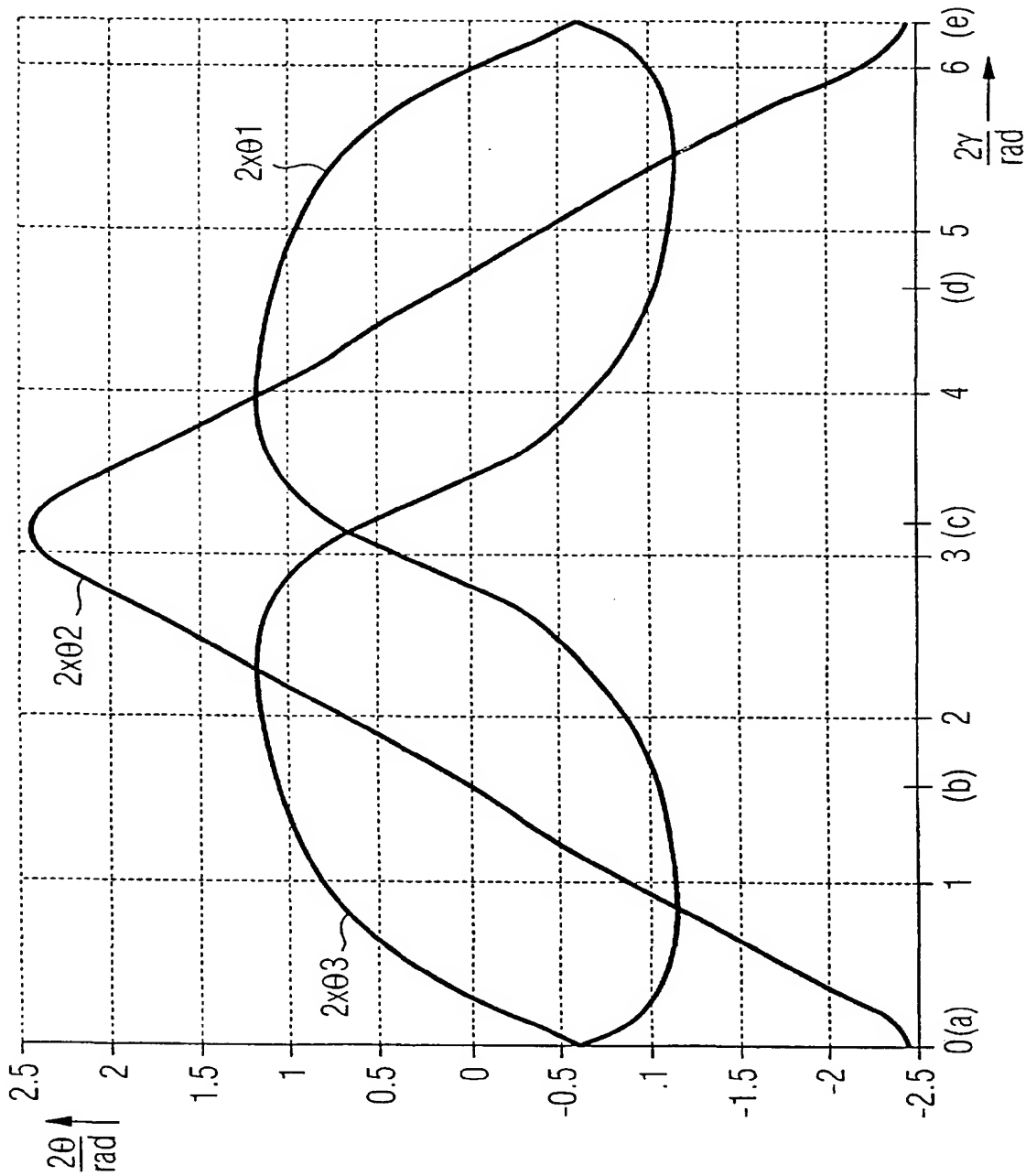


FIG 5

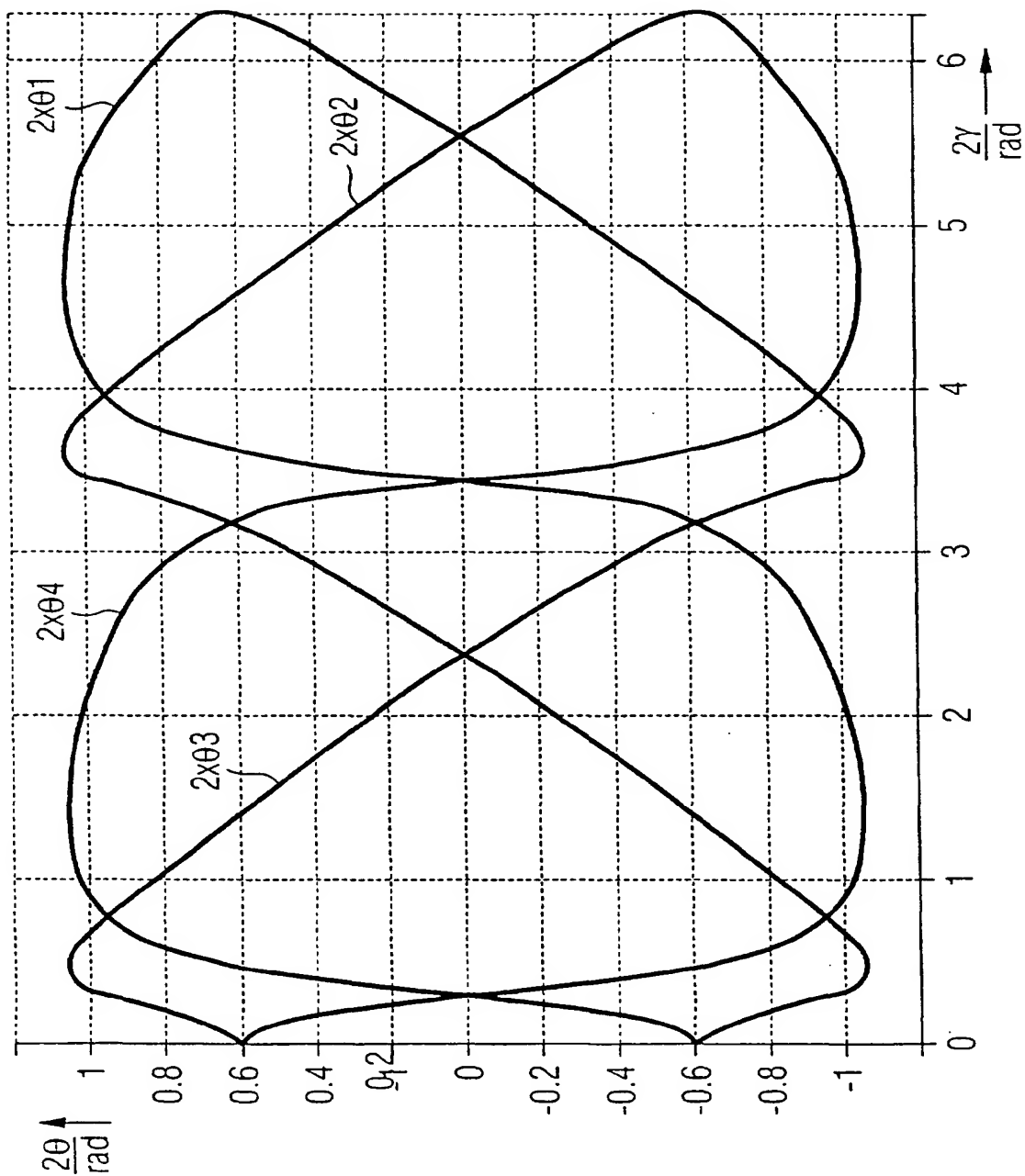
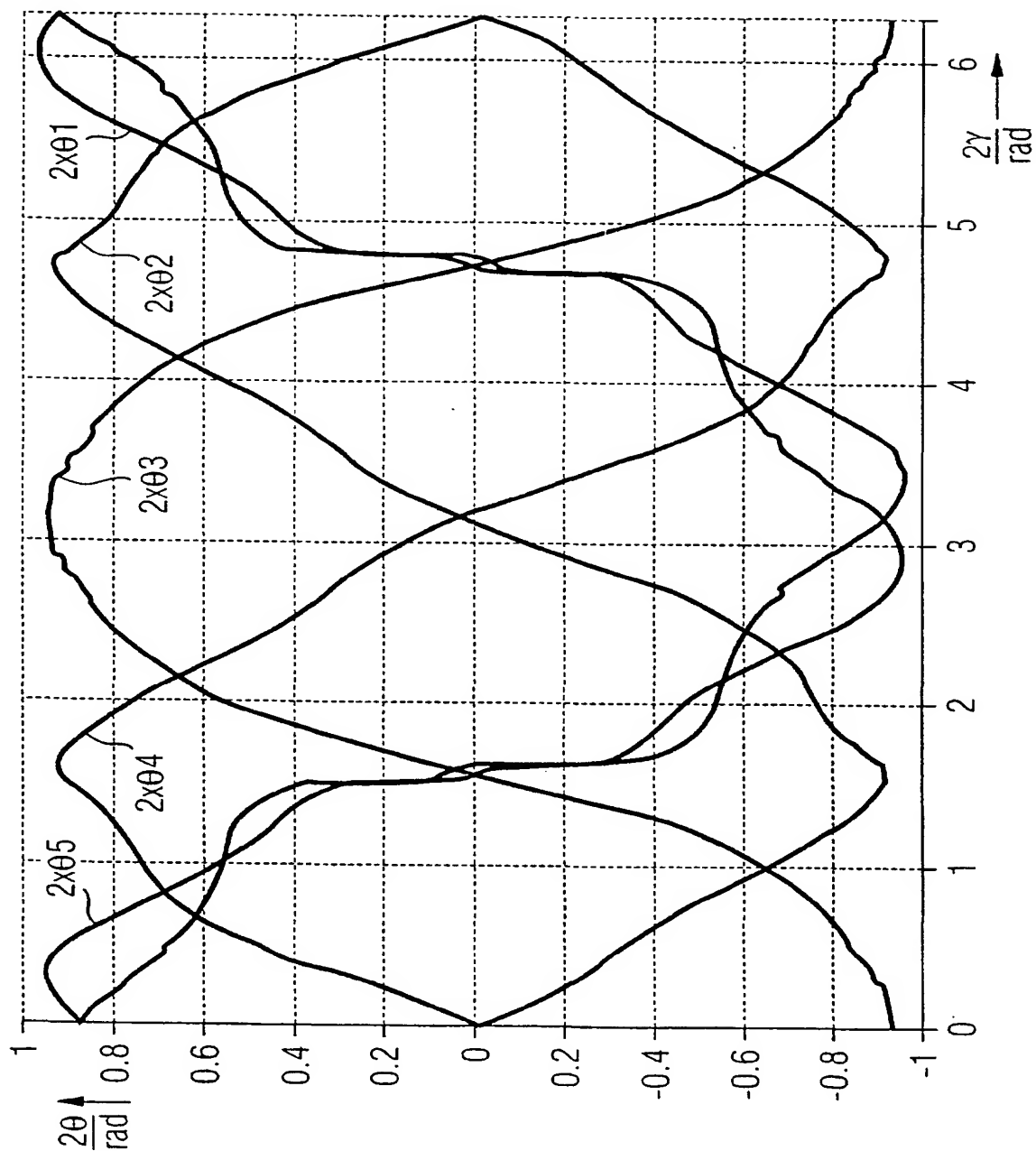


FIG 6



**FIG 7**

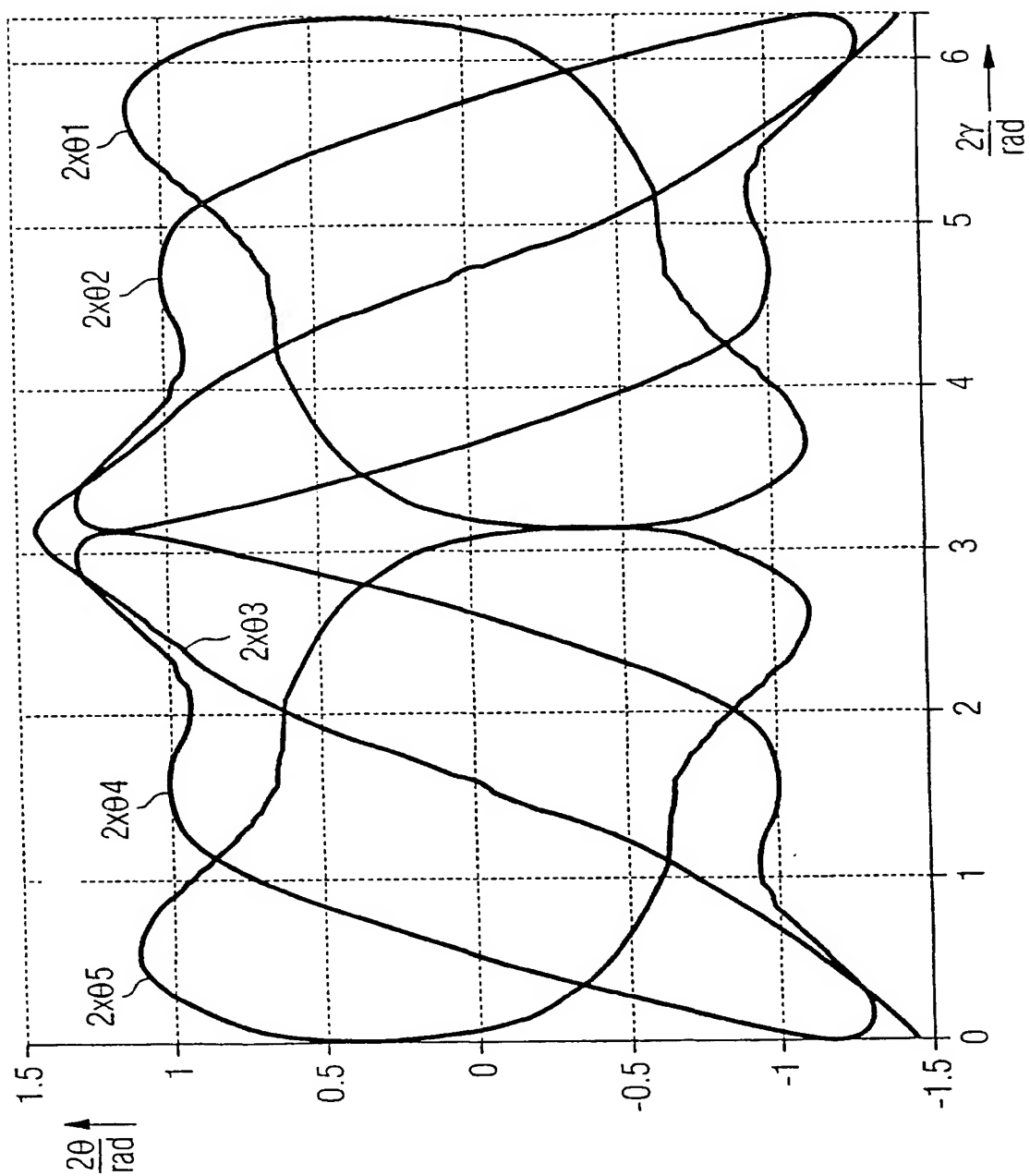
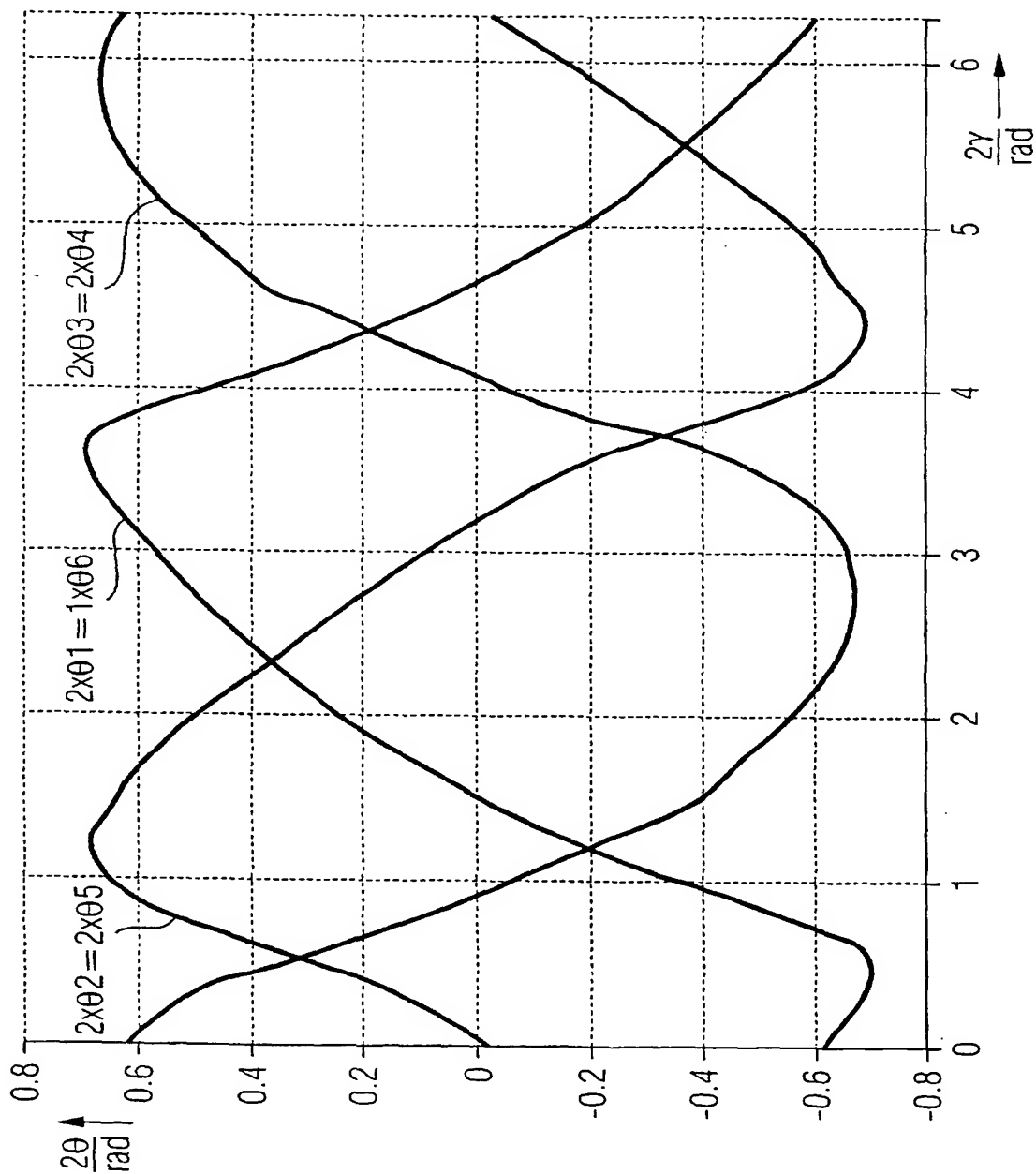
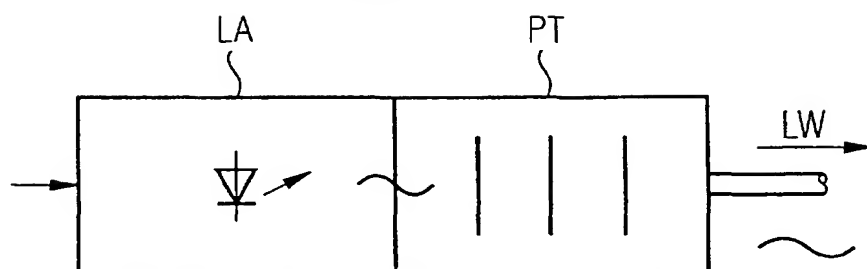


FIG 8



**FIG 9**



**FIG 10**

